UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

VINICIUS DE SOUZA SILVA

ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA NA IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DE UM RESTAURANTE DE PEQUENO/MÉDIO PORTE EM MARINGÁ - PR

CURITIBA
2021

VINICIUS DE SOUZA SILVA

ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA NA IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS DE UM RESTAURANTE DE PEQUENO/MÉDIO PORTE EM MARINGÁ - PR

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), do curso de MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias (PECCA), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), como requisito parcial para obtenção do certificado de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Me. Nícolas Lazzaretti Berhorst

CURITIBA

2021

RESUMO

O aproveitamento energético dos mais variados tipos de resíduos tem se mostrado alternativa viável para diminuição dos custos operacionais, além de contribuir com a diminuição do impacto ambiental gerado por estes resíduos quando mal geridos, promovendo melhorias na cadeia de valor e proporcionando um diferencial competitivo para o negócio. O restaurante Sabor de Casa é um comércio de pequeno/médio porte localizado no município de Maringá - PR, que comercializa em média 800 refeições por semana. O processo produtivo da empresa gera uma grande quantidade de resíduos alimentares, sendo estes resíduos orgânicos e óleo vegetal. Os resíduos orgânicos não são reaproveitados pela empresa, já o óleo vegetal de fritura é vendido ao preço de R$2,50 por litro para uma empresa especializada na compra e venda deste tipo de resíduo. Também na etapa de produção de alimentos há um grande consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP). O presente estudo visa investigar a viabilidade econômica na instalação de um biodigestor anaeróbio no restaurante Sabor de Casa, por meio de uma análise de financeira, para produção de biogás utilizando como substrato os resíduos orgânicos alimentares e o óleo vegetal de fritura provenientes do preparo dos alimentos. O potencial de produção de biogás com os dois resíduos é de produzir 2,2 m^3/dia, ou ainda 58 m^3/mês. Este potencial de produção equivale a 26 kg de GLP por mês. O custo de oportunidade, que seria o valor de economia que empresa teria na compra de GLP seria de R$200,00 por mês, considerando o valor de compra atual do botijão, que é de R$100,00 por 13 kg. O Valor Presente Líquido calculado foi de R$5.845,00 enquanto a Taxa de Retorno Interno ficou na ordem de 10%. Para efeito de cálculo, utilizou-se um Taxa Mínima de Atratividade de 7%. O projeto só é viável no caso da utilização dos dois tipos de resíduos, haja vista que o volume de produção de biogás por parte do óleo vegetal de fritura corresponde a 56% do total do potencial de geração. Além do biogás, é possível produzir anualmente 2,54 m^3 de biofertilizante e deixar de emitir 3,74 tCO_2e. Ademais, pode-se evidenciar os benefícios ambientais e sociais decorrentes da adoção do método. A redução da geração de resíduos por parte da empresa, a destinação e tratamento correto dos resíduos orgânicos, a melhora da imagem da empresa para com a sociedade, o incentivo a outras empresas de mesmo porte adotarem o sistema, a possibilidade de estudos futuros e contribuição com o meio científico.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestor; Biogás; Viabilidade econômica; Resíduos orgânicos alimentares.

ABSTRACT

The energy use of the most varied types of waste has proved to be a viable alternative to reduce operating costs, in addition to contributing to the reduction of the environmental impact generated by this waste when poorly managed, promoting improvements in the value chain and providing a competitive advantage for the business. The Sabor de Casa restaurant is a small/medium sized business located in the city of Maringá - PR, which sells an average of 800 meals per week. The company's production process generates a large amount of food waste, which is organic waste and vegetable oil. Organic residues are not reused by the company, while vegetable frying oil is sold at a price of R$2.50 per liter to a company specialized in the purchase and sale of this type of residue. Also in the food production stage there is a large consumption of liquefied petroleum gas (GLP). This study aims to investigate the economic feasibility of installing an anaerobic biodigester at the Sabor de Casa restaurant, through a financial analysis, for the production of biogas using organic food waste and vegetable frying oil from food preparation as substrate. The potential for biogas production with the two residues is to produce 2.2 m^3/day, or 58 m^3/month. This production potential is equivalent to 26 kg of LPG per month. The opportunity cost, which would be the value of savings that the company would have on the purchase of LPG, would be R$200 per month, considering the current purchase price of the cylinder, which is R$100 per 13 kg. The calculated Net Present Value was R$5,845.00 while the Internal Return Rate was around 10%. For calculation purposes, a Minimum Attractiveness Rate of 7% was used. The project is only viable in the case of using both types of waste, given that the volume of biogas production from the frying vegetable oil corresponds to 56% of the total generation potential. In addition to biogas, it is possible to produce 2.54 m^3 of biofertilizer annually and stop emitting 3.74 tCO2e. Furthermore, the environmental and social benefits arising from the adoption of the method can be highlighted. The reduction of waste generation by the company, the correct destination and treatment of organic waste, the improvement of the company's image towards society, the encouragement of other companies of the same size to adopt the system, the possibility of future studies and contribution with the scientific world.

KEYWORDS: Biodigester; Biogas; Economic viability; Organic food waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da produção de biogás no Restaurante Sabor de Casa 12
Figura 2 - Etapas do processo de digestão anaeróbia 13
Figura 3 - Fachada do restaurante Sabor de Casa, Maringá – PR. 24
Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo do Restaurante Sabor de Casa em Maringá/PR. 25
Figura 5 - Óleo vegetal de fritura acondicionado temporariamente. 26
Figura 6 - Estrutura predial de conexão de gás 27
Figura 7 - Biodigestores urbanos, HomeBiogás 7.0 (A) e Lavoisier (B). 28
Figura 8 - Fluxo de caixa no período de 10 anos. 37
Figura 9 - DRE no período de 10 anos. 37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Situação das plantas de biogás para fins energéticos 20
Quadro 2 - Quantificação dos resíduos alimentares 25
Quadro 3 - Orçamento para compra dos equimentos do sistema de digestão anaeróbia 34
Quadro 4 - Simulação de empréstimo BNDES. 35
Quadro 5 - Dados estimados para cálculo do D.R.E 38
Quadro 6 - Cálculo do *payback* para o período de 10 anos. 39
Quadro 7 - Indicadores de viabilidade financeira estimados no período de 10 anos. 39

‘

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8
1.1 Objetivos 10
1.1.1 Objetivo Geral 10
1.1.2 Objetivos Específicos 10
1.2 Justificativa 10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12
2.1 Biogás 12
2.2 Digestão anaeróbia 13
2.2.1 Hidrólise 14
2.2.2 Acidogênese 14
2.2.3 Acetogênase 15
2.2.4 Metanogênase 15
2.3 Biodigestores 16
2.4 Fatores que influenciam na produção de biogás 16
2.4.1 Temperatura 16
2.4.2 pH 17
2.4.3 Alcalinidade 17
2.4.4 Concentração de amônia 17
2.4.5 Nutrientes 18
2.4.6 Tempo de retenção hidráulica 18
2.4.7 Carga volumétrica orgânica 19
2.5 Panorama do biogás no Brasil 19
2.6 Aspectos e impactos ambientais na utilização do biogás 21
3 METODOLOGIA 23
3.1 Caracterização do empreendimento 23
3.2 Descrição dos investimentos 27
3.3 Estimativa de produção de gás metano (CH4) 28
3.4 Indicadores de viabilidade econômica 30
3.4.1 Taxa Interna de Retorno (TIR) 31
3.4.2 Valor Presente Líquido (VPL) 31
3.4.3 *Payback* 32

3.4.4 Taxa Mínima de Atratividade (TMA) 32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 34
5 CONCLUSÃO..... 41
REFERÊNCIAS 42

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento energético dos mais variados tipos de resíduos orgânicos gerados nos processos produtivos das empresas tem se mostrado cada vez mais uma alternativa viável para diminuição dos custos operacionais, além de contribuir com a diminuição do impacto ambiental gerado por estes resíduos quando mal geridos, promovendo melhorias na cadeia de valor e proporcionando um diferencial competitivo para o negócio.

Amaral et al. (2004) cita que a fermentação da biomassa em reatores anaeróbicos apresenta uma excelente alternativa, pois além de reduzir a taxa de poluição e contaminação do ciclo produtivo, promove a geração do biogás, utilizado como fonte de energia térmica, mecânica e elétrica, permitindo ainda a utilização do resíduo final como biofertilizante. Neste contexto, foi investigada a viabilidade da produção de biogás como fonte de energia térmica a partir do uso de um biodigestor anaeróbio de pequeno porte, considerando a disposição de matéria prima de um restaurante de pequeno/médio porte para o processo.

Com o objetivo de diminuir os riscos e conhecer as incertezas do projeto a análise financeira se mostra fundamental para dar luz a tomada de decisão do investidor. Segundo Casarotto Filho & Kopittke (2010) o investimento pode ser definido como uma renúncia de consumo no presente em razão de um ganho satisfatório no futuro, sendo assim, torna-se necessário o uso de ferramentas confiáveis para avaliar os retornos e sustentar a tomada de decisões por parte dos empresários e investidores. A viabilidade financeira é um dado calculado em cima de despesas e receitas. Ela permite calcular se o investimento de tempo e dinheiro necessário para colocar em prática um plano ou projeto é viável para seus investidores (SEBRAE, 2019). Alguns dos indicadores de viabilidade financeira mais utilizados são o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa de Retorno Interno (TIR) e *Payback*.

O restaurante Sabor de Casa foi fundado pelos empreendedores João Carlos da Silva e Elizabete Andrade de Souza Silva, no ano de 2010, e permanece sobre administração da família até os dias atuais. Localizado no município de Maringá - PR, atua no ramo de alimentação servindo refeições através dos meios *delivery* e *take away*. A produção média de resíduos orgânicos alimentares por parte da empresa é de 260kg por mês e de 50 litros de óleo vegetal no mesmo período. Atualmente, os resíduos orgânicos alimentares são descartados junto aos rejeitos produzidos na empresa, já o óleo vegetal é vendido ao preço de R$2,50/litro. Em seu processo produtivo, a empresa consume em média 13kg de gás liquefeito de petróleo (GLP) por dia. A produção de biogás para a utilização conjunta ao gás GLP é um fator interessante para

empresa, tendo em vista o grande consumo deste tipo de gás e a grande geração de resíduos orgânicos.

Diante do exposto, o presente estudo visa investigar a viabilidade econômica na instalação de um biodigestor anaeróbio no restaurante Sabor de Casa, por meio de uma análise de financeira, para produção de biogás utilizando como substrato os resíduos orgânicos alimentares e o óleo vegetal de fritura provenientes do preparo dos alimentos. O investimento visa proporcionar uma nova perspectiva ambiental para a gestão destes resíduos, e econômica no sentido de propor uma nova solução para o aproveitamento dos resíduos orgânicos por parte da empresa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Quantificar o potencial de retorno financeiro na instalação de um biodigestor anaeróbio para produção de biogás utilizando resíduos da produção de alimentos provenientes do processo produtivo de um restaurante de pequeno/médio porte localizado no município de Maringá - PR.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estimar o volume de biogás e biofertilizante produzido no processo de digestão anaeróbia;
- comparar o retorno financeiro entre a utilização do óleo de cozinha para produção de biogás em relação ao seu valor de mercado quando destinado para venda para uma empresa de coleta;
- propor uma nova perspectiva econômica e ambiental na gestão dos resíduos orgânicos gerados na empresa;
- estimar a produção de Certificados de Redução de Emissões (CRE).

1.2 Justificativa

A produção de biogás utilizando uma diversidade de resíduos orgânicos tem se mostrado eficiente a medida em que estudos são realizados ao longo dos anos. A alternativa se mostra viável para utilização desses tipos de substratos orgânicos. Quando não utilizados, acabam se tornando um passivo ambiental, com potencial de poluição do solo, da água e da atmosfera. Ao se utilizar esses resíduos como matéria-prima para a produção de biogás, estes passivos ambientais se tornam ativos energéticos, contribuindo dessa forma com a diminuição do impacto ambiental ocasionados pela utilização de fontes não renováveis podendo se tornar uma alternativa viável no quesito econômico.

O restaurante Sabor de Casa é um comércio de pequeno/médio porte que atua no ramo de alimentação localizado no município de Maringá - PR, comercializando em média 800 refeições por semana. O processo produtivo da empresa gera uma grande quantidade de resíduos alimentares, sendo estes resíduos orgânicos e óleo vegetal. Os resíduos orgânicos não

são reaproveitados pela empresa, já o óleo vegetal de fritura é vendido ao preço de R$2,50 por litro para uma empresa especializada na compra e venda deste tipo de resíduo. Também na etapa de produção de alimentos há um grande consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP), um combustível fóssil que emite gases de efeito estufa. A produção de biogás utilizando os resíduos gerados pela empresa serve como uma alternativa energética complementar a utilização do gás GLP de forma a reduzir a demanda de seu consumo, além de contribuir com um tratamento mais eficiente e adequado dos resíduos.

Desta forma, a utilização dos resíduos orgânicos alimentares gerados no processo produtivo dá luz a uma nova perspectiva econômica e ambiental para a empresa, resultando na geração de uma importante fonte energética alternativa, além de reduzir os impactos ambientais decorrentes das disposições inadequadas destes resíduos e das emissões dos gases de efeito estufa. Assim, torne-se relevante o presente estudo, uma vez que propõe avaliar a viabilidade da implantação de um biodigestor que possibilitaria a empresa a destinação mais racional de seus resíduos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

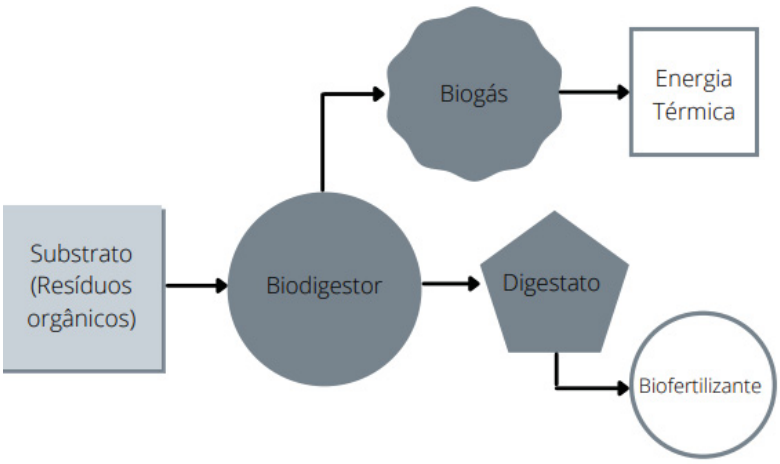
2.1 Biogás

O biogás é um subproduto gasoso resultante da digestão anaeróbia (DA) destes substratos e é composto por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e uma série de outros componentes em menores quantidades, como gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3), umidade (H_2O) (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020). De acordo com Bley (2015) em sua composição o biogás é constituído em média por 59% de gás metano, 40% de gás carbônico e 1% de gases-traço, entre eles o gás sulfídrico.

Oliver et al. (2008), define o biogás sendo um gás combustível com a queima de forma limpa, e renovável, sendo usado como combustível e fonte de energia alternativa. Os autores ainda citam que seu poder calorífico varia de 5000 a 7000 Kcal/m³.

O biogás pode ser utilizado de várias maneiras e cada um desses usos exige uma qualidade e um grau de tratamento para o gás. Os possíveis usos em ordem de exigência de qualidade são: combustão direta, aproveitamento térmico, aproveitamento elétrico, injeção na rede de gás e como combustível (FNR, 2010). Ele pode também substituir gases derivados do petróleo tais como: gás de cozinha (GLP) e gás natural (KONRAD et al., 2010). Para este projeto, o biogás gerado (Figura 1) será utilizado em conjunto ao gás liquefeito de petróleo (GLP) para geração de energia térmica utilizada na etapa de preparo dos alimentos.

Figura 1 - Fluxograma da produção de biogás no Restaurante Sabor de Casa



Fonte: Adaptado de (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020).

2.2 Digestão anaeróbia

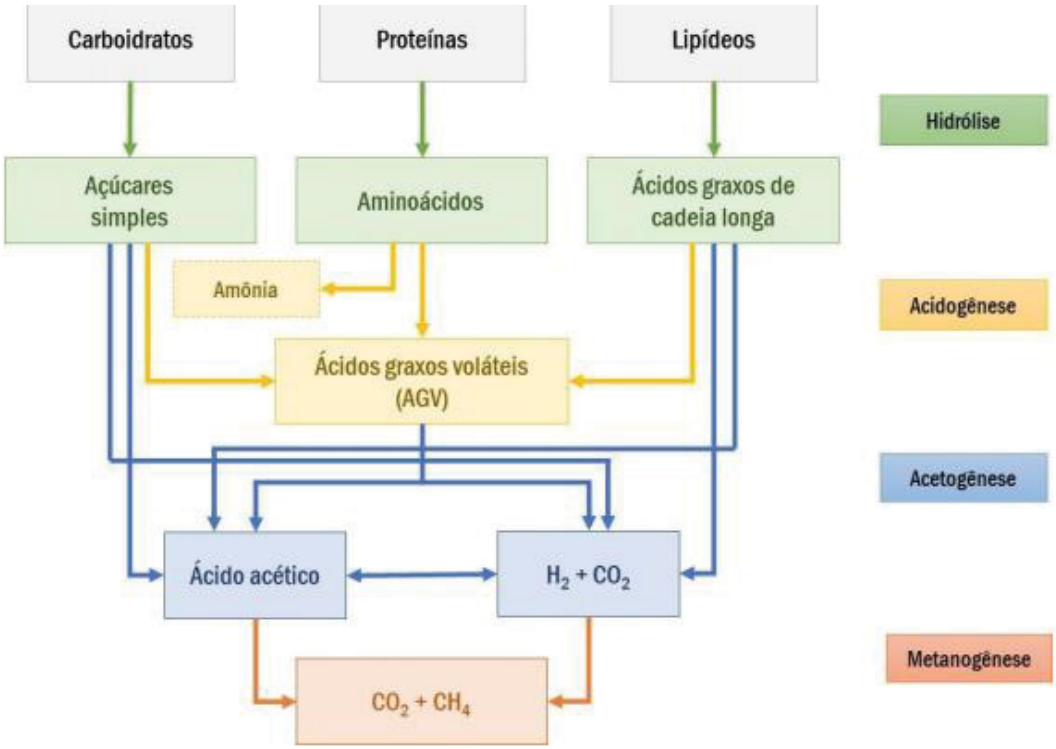
A biodigestão anaeróbia necessita de um determinado tempo de retenção hidráulica (TDH), sob condições ideais de temperatura e homogeneização do substrato. Em função da ausência de oxigênio, microrganismos anaeróbios encontram condições ideias para se proliferar, utilizando-se como alimento os resíduos orgânicos ali presentes.

O processo de digestão anaeróbia envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica levando à formação de metano, produtos inorgânicos (dióxido de carbono) e resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante (matéria orgânica estabilizada).

As principais vantagens deste tratamento se concentram na baixa demanda por energia, menores requisitos de nutrientes e menor geração de lodo quando comparado aos sistemas aeróbios (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020).

O processo de digestão anaeróbia (Figura 2) passa necessariamente por quatro fases a nível bacteriano, sendo elas hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo que a geração do biogás ocorre na última etapa do processo (ARAÚJO, 2017).

Figura 2 - Etapas do processo de digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020).

2.2.1 Hidrólise

Esta etapa é muito importante para uma instalação de biogás, pois o material orgânico submetido ao processo de digestão deve ser quebrado em pequenas moléculas para que os microrganismos consigam se alimentar delas (KARLSSON et. al, 2014). Nesta etapa, as proteínas são degradadas em peptídeos, os carboidratos em açúcares solúveis e os lipídeos, em ácidos graxos de cadeia longa e glicerol (REIS, 2012).

Durante a hidrólise os polímeros são convertidos em compostos menores por meio de enzimas excretadas pelas bactérias hidrolíticas, ou seja, a degradação neste estágio inicial ocorre fora das células dos microrganismos (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020). Os autores ainda destacam que o tempo de duração da hidrólise pode ser de poucas horas para os carboidratos e alguns dias para as proteínas e lipídeos, ou seja, a produção de biogás em um reator depende da concentração de cada tipo de macromolécula no substrato.

Existem diversos tipos de hidrólise que variam em função da matéria orgânica utilizada, como por exemplo, a hidrólise de glicosídeos para a formação de açúcares e de proteínas para aminoácidos. Esse processo é de fundamental importância para a produção de biogás, pois dada a quebra dos polímeros maiores, inicia-se o processo de biodigestão (ARAÚJO, 2017).

2.2.2 Acidogênese

Os monômeros formados na etapa de hidrólise como os açúcares simples, os aminoácidos e os ácidos graxos de cadeia curta encontra-se são solúveis em água e, portanto, podem ser absorvidos por bactérias anaeróbias e facultativas por meio de diversos processos fermentativos (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020). Ao final de etapa de acidogênese são gerados principalmente dióxido de carbono (CO2), hidrogênio (H2), álcoois e ácidos orgânicos. Os compostos orgânicos nitrogenados e compostos orgânicos sulfurados também são formados nesta etapa devido à degradação de aminoácidos e proteínas.

Nesta etapa, ácidos são formados por meio das reações e dividem-se em ácidos orgânicos, álcoois e amoníaco, além de hidrogênio e dióxido de carbono. Exemplos de ácidos orgânicos são o acético, butílico e láctico (KARLSSON et. al, 2014).

Araújo (2017) enfatiza que a formação de produtos nesta fase também depende da quantidade de hidrogênio dissolvido na mistura. Quando a concentração de hidrogênio é muito alta, esta interfere negativamente na eficiência da acidogênese, o que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Com isso, o pH da mistura é reduzido e o processo é afetado.

2.2.3 Acetogênase

A acetogênese é a fase na qual os materiais resultantes da acidogênese são transformados em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico por bactérias acetogênicas (ARAÚJO, 2017). Nesta etapa, a maioria dos ácidos e álcoois, como o ácido butírico, ácido propiônico e etanol, por exemplo, produzidos durante a acidogênese são degradados em acetato, que pode ser utilizado como substrato para as arqueas metanogênicas (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020).

2.2.4 Metanogênase

Nesta última etapa tem-se a fase de formação de metano. O metano formado pelos microrganismos metanogênicos necessitam, para sua formação, de ácido acético e CO2 e de mais alguns produtos de menor importância (KARLSSON et. al, 2014). São subprodutos das três etapas anteriores, sendo na fase metanogênica também formados dióxido de carbono e água. Pelo fato de o gás metano ser o produto que gera a rentabilidade do sistema, é de suma importância adaptar o processo para que as bactérias metanogênicas possam se desenvolver da melhor maneira possível.

Durante a metanogênese na biodigestão anaeróbia, o ácido acético, o hidrogênio e dióxido de carbono são finalmente convertidos em metano e gás carbônico através da ação de microrganismos metanogênicos classificados no domínio das archeas, conhecido como distinto das bactérias devido a suas características genéticas (ARAÚJO, 2017).

O estudo realizado por Edwiges, Muller & Martinez (2020) indica que se a etapa de metanogênese for inibida, os ácidos formados nas etapas anteriores passam a acumular no reator, causando um processo de acidificação que pode ser irreversível, o que impacta diretamente a produção de gás metano. Por outro lado, em caso de inibição da etapa de acidogênese, que pode ser causada pela dificuldade de hidrólise de substratos de difícil degradação a disponibilidade de acetato para as metanogênicas diminui e, consequentemente, observa-se um acúmulo de substrato dentro do reator e a redução na produção de metano.

Para garantir um equilíbrio entre estes diferentes grupos de microrganismos deve-se garantir as condições ideais de parâmetros de operação do sistema como por exemplo a temperatura, pH, agitação e carga de alimentação (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020).

2.3 Biodigestores

O biodigestor anaeróbio é um sistema fechado onde é feita a degradação da matéria orgânica por ação microbiológica, que geralmente conta com um sistema de entrada de matéria orgânica, um tanque onde ocorre a digestão e um mecanismo para retirada de subprodutos (REIS, 2012). O equipamento é construído de tal forma que o oxigênio não entra tornando o ambiente propício para a reprodução de microrganismos anaeróbios, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e consequente produção de biogás.

O sistema é formado por uma câmara fechada onde é inserido o substrato orgânico como fonte de matéria prima, onde passará pelo processo de decomposição anaeróbia. Atualmente, existem diversos modelos de biodigestores, de acordo com cada tipo de utilização. Este tipo de sistema é muito usado no meio rural devido ao fato de gerar um grande volume de matéria orgânica (biomassa), tanto de esterco dos animais das fazendas como de restos de alimentos, entre outras fontes. Dependendo da quantidade biomassa produzida e do tipo de sistema utilizado, torna-se viável gerar energia utilizando o gás gerado, assim como é feito em alguns locais no Brasil e no mundo. Esta é uma forma simples e eficiente de tratar a matéria orgânica que seria descartada no meio ambiente e transformá-la em utilizável.

2.4 Fatores que influenciam na produção de biogás

Para que ocorra a perfeita degradação da matéria orgânica e produção do biogás em quantidade e qualidade suficiente para atender a demanda energética, é necessário monitoramento específico e periódico de fatores que podem interferir na sua operação (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020). Fatores internos como temperatura, pH, alcalinidade, concentração de amônia e os nutrientes influenciam diretamente no processo de digestão anaeróbico, impactando assim na produção de biogás. Também há fatores externos que influenciam no processo, como o tempo de retenção hidráulica (TRH) e a quantidade de substrato que alimentara o sistema.

A importância de se aferir e controlar estes fatores é a de buscar a maior produção de biogás possível, com o propósito de tornar o projeto financeiramente viável, aproveitando da maneira mais eficiente a quantidade de substrato disponível.

2.4.1 Temperatura

A atividade biológica e a produção de metano estão diretamente relacionadas com a temperatura, o que torna este parâmetro um dos mais importantes. Alterações de temperatura podem causar desequilíbrio nas culturas envolvidas no processo de digestão anaeróbia, principalmente nas bactérias metanogênica, responsáveis pela produção de gás metano. A temperatura tem efeitos importantes nas propriedades físico-químicas de componentes encontrados nos substratos anaeróbios. Também influencia a velocidade de crescimento e metabolismo dos microrganismos, e com isso, a dinâmica populacional em um biodigestor (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019). Havendo variação de temperatura abaixo ou acima da faixa ideal os microrganismos são prejudicados e pode trazer danos ao processo.

2.4.2 pH

Assim como ocorre com a temperatura, os microrganismos envolvidos no processo de digestão anaeróbia também necessitam de um meio com pH ótimo de trabalho. Os microrganismos envolvidos nos diversos estágios de decomposição necessitam de diferentes valores de pH para o seu desenvolvimento ótimo (FNR, 2010). As arqueas metanogênicas são extremamente sensíveis ao pH, com um valor ótimo entre 6,7 e 7,5. Os microrganismos fermentativos são menos sensíveis e podem se adaptar a maiores variações de pH entre 4,0 e 8,5 (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019). Karlsson et. al (2014) indicam que a geração de biogás obtém maior rendimento em pH neutros ou ligeiramente superior (pH entre 7,0 e 8,5).

2.4.3 Alcalinidade

A alcalinidade pode ser definida como a capacidade do meio em neutralizar a o acúmulo de ácidos (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020). A alcalinidade é composta principalmente por íons de bicarbonato, os quais estão em equilíbrio com o dióxido de carbono (KARLSSON et. al, 2014). Os autores ainda citam que embora o dióxido de carbono e íons de carbonato contribuam para a alcalinidade, a degradação dos substratos ricos em nitrogênio com altas proporções de proteínas e aminoácidos aumentam a alcalinidade, devido à liberação de amoníaco que reage com o dióxido de carbono, dissolvido para a formação de bicarbonato de amônio.

2.4.4 Concentração de amônia

Amônia (NH3) é um gás e amônio (NH4+) é um íon solúvel em água e estes compostos são formados a partir da degradação anaeróbia das proteínas e aminoácidos. A concentração do gás amônia ou do íon amônio depende do pH do meio (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020). Ainda de acordo com os autores, a temperatura também influencia no equilíbrio entre a concentração de NH3 e NH4+. Quanto maior a temperatura do sistema maior a formação de amônia, ou seja, o efeito inibidor aumenta com o aumento da temperatura.

A amônia é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos anaeróbios, mas também pode ser tóxica em concentrações elevadas. A concentração de amônia pode inibir a atividade biológicas das bactérias metanogênicas.

2.4.5 Nutrientes

Cada espécie de microrganismo envolvido na decomposição anaeróbia tem sua necessidade própria de vitaminas, micro e macronutrientes. A taxa de crescimento e a atividade das diversas populações estão condicionadas à concentração e a disponibilidade desses nutrientes (FNR, 2010). O estudo aponta que após o carbono, o nitrogênio é o nutriente mais importante, sendo necessário para a formação de enzimas responsáveis pela realização do metabolismo.

A principal fonte de alimento das bactérias é o carbono, enquanto o nitrogênio é uma importante fonte para a síntese de proteínas e reprodução das bactérias. Edwiges, Muller & Martinez (2020) salientam que a deficiência de nitrogênio no substrato implica em limitação da atividade metabólica dos microrganismos, que neste caso não conseguem degradar todo o carbono existente, resultado em ineficiência do processo de bioconversão de substratos em biogás. Os compostos de enxofre podem causar problemas para o processo anaeróbio, pois causam a precipitação de nutrientes essenciais em níveis traços como ferro, níquel, cobre e molibdênio, que são insolúveis em baixos potenciais redox (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

2.4.6 Tempo de retenção hidráulica

O tempo de retenção hidráulica (TRH) é o tempo em que o material a ser digerido permanece dentro do reator. Ele tem papel importante tanto no tratamento da biomassa, quanto na formação de metabólitos intermediários importantes para os microrganismos durante a digestão anaeróbia. O TRH está correlacionado ao volume do reator e ao volume de substrato

utilizado para a alimentação por unidade de tempo (EDWIGES; MULLER; MARTINEZ, 2020). Os autores afirmam que o tempo médio necessário para que a população de arqueas metanogênicas dobre de tamanho é de aproximadamente a 12 dias, o TRH de um reator anaeróbio não deve ser inferior a este valor. Valores abaixo desta faixa podem criar um efeito de *washout*, criado quando a saída de microrganismos é maior que seu período de reprodução. No presente estudo, considerou-se um tempo de retenção hidráulica de médio de 30 dias.

2.4.7 Carga volumétrica orgânica

A carga orgânica volumétrica (COV) representa a quantidade de substrato adicionado ao biodigestor em um determinado intervalo de tempo (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019). Segundo os autores, a COV influencia toda a dinâmica do processo de digestão anaeróbia. Uma ótima carga orgânica volumétrica proporciona condições adequadas para o crescimento dos microrganismos e consequentemente maior estabilidade do processo. Baixas COVs podem representar baixa relação alimento/microrganismo, o que resulta em baixa atividade biológica.

Para operação mais eficiente do reator anaeróbio é importante que a mesma COV seja alimentada diariamente, com o proposite de se manter o substrato homogêneo, evitando acúmulo de resíduos o que pode impactar negativamente na produção de biogás e consequentemente na viabilidade econômica do projeto.

2.5 Panorama do biogás no Brasil

O aproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica, energia térmica e biometano vem ganhando espaço no Brasil e no mundo. Estudo desenvolvido pela Associação Brasileira de Biogás e Biometano - ABiogás, em 2018, indicou que o Brasil é o país com o maior potencial de produção de biogás do planeta, cerca de 84,6 bilhões de metros cúbicos/ano (CIBiogás, 2020).

Segundo dados levantados pelo Centro Internacional de Biogás (CIBiogás, 2021) ao longo de 2020 e entre os meses de janeiro a março de 2021, divulgados por meio da nota técnica 001/2021, foram contabilizadas 675 plantas de biogás, sendo que destas 638 encontram-se em operação para fins energéticos no Brasil, produzindo um total de 1,83 bilhões de metros cúbicos no ano de 2020, representando 94% das plantas identificadas. A nota técnica indica que após o início das 37 plantas em fase de implantação ou em reforma, o Brasil alcançara uma produção

anual de 2,2 bilhões de Nm³. O Quadro 2 expõe a situação das plantas de biogás com fins energéticos.

Quadro 1 - Situação das plantas de biogás para fins energéticos

Situação	Qtde. de plantas		Volume de biogás (Nm³/ano)	
Em operação	638	94%	1,83 bilhão	82%
Em implantação	26	4%	349,96 milhões	16%
Em reformulação ou reforma	11	2%	43,35 milhões	2%
Total	**675**		**2,2 bilhões**	

Fonte: Adaptado de CIBiogás (2020).

As plantas de biogás foram classificadas segundo seu porte, divididos em três categorias: pequena, média e grande. As plantas de pequeno porte representam 78% do total, sendo o seu volume de produção responsável por 8% do total gerado. As plantas de médio porte representam 16% do total, e seu volume de produção corresponde a 13%. Já as plantas de grande porte totalizam 6%, com volume de produção na ordem de 79%. O estudo destaca que a pulverização de pequenas plantas oriundas principalmente da pecuária em todo o território nacional, contribui para que o maior número de plantas do país sejam as de pequeno porte.

Em relação a origem do substrato utilizado como matéria-prima, o estudo também dividiu em três categorias: agropecuária, indústria, resíduo sólido urbano (RSU) e estação de tratamento de efluentes (ETE). A primeira categoria é a principal fonte de substrato para produção de biogás e representa 79% da quantidade de plantas com um volume de geração de 11% do total gerado. A categoria indústria corresponde a 12% do total de plantas em operação e produz 16% do volume gerado. Por fim, a categoria RSU e ETE confere 9% do montante, porém seu volume de geração é responsável por 73% do total.

Em termos de aplicação energética, o estudo aponta que a grande parte do biogás produzido é utilizado para geração de energia elétrica, totalizando 85% das plantas e 73% do volume de biogás gerado. Em segundo lugar fica a geração de energia térmica, com 13% das plantas e 8% do volume. As aplicações em produção de biometano e energia mecânica condiz com 1% das plantas cada, sendo responsáveis por 19% e 0,4% do volume gerado, respectivamente.

No tocante a localização das plantas de biogás, o estado de Minas Gerais apresentou a maior fração, com 225 unidades em operação, equivalente a 35% do total. O estado do Paraná ocupa a segunda posição, com 138 plantas, representando 22%. O estado de São Paulo figura

na terceira posição em número de plantas em operação, porém, lidera com a maior produção de biogás, com 39% do volume total produzido, seguido pelo estado do Rio de Janeiro com 18%. Os dois estados juntos representam mais da metade de todo o volume de biogás produzido.

O levantamento observou que a curva de crescimento do setor vem se comportando de forma exponencial, ao analisar a quantidade de plantas e o volume de biogás produzido. Entre 2017 e 2019 esse aumento passou a ser de 41%a.a. Analisando o período de 2018 a 2019 o crescimento foi de 31%a.a. Já no período entre 2019 e 2020 apresentou um crescimento médio de 22%a.a. Da mesma forma o volume de biogás produzido aumentou expressivamente nos últimos anos. De 2014 para 2015 o crescimento foi de 65% no volume de biogás. Já entre 2015 e 2018 o crescimento médio do volume de biogás produzido com fins energéticos foi de 13%a.a. De 2018 para 2019, o índice de crescimento voltou a aumentar, atingindo 36%a.a. De 2019 para 2020, o índice de crescimento alcançou 23%a.a.

Ao se verificar o potencial nacional de produção de biogás calculado pela ABiogás em 2018, que era de 84,6 bilhões de Nm^3/ano, constata-se com o atual cenário de produção de 1,83 bi de Nm^3/ano levantados pelo estudo, que equivale a 2% do potencial nacional, que a cadeia do biogás tem uma oportunidade de expansão de 98% no Brasil.

Diante dos dados publicados, fica evidente o enorme potencial de crescimento da produção de biogás no Brasil, agregando valor a cadeia produtiva e favorecendo o desenvolvimento sustentável do país, contribuindo com o melhor tratamento dos resíduos e efluentes gerados e diversificando a matriz energética, trazendo uma série de benefícios ambientais, econômicos e sociais.

2.6 Aspectos e impactos ambientais na utilização do biogás

O biogás, produzido pela conversão da matéria orgânica contida no ciclo natural da terra, deve ser decomposto de modo que não emita gases que contribuam para o aumento do efeito estufa. Assim, a melhor forma de decompor a matéria orgânico é utilizando um sistema anaeróbio, em um biodigestor, de modo em que o biogás possa ser aproveitado. Se o biogás é aproveitado de modo que o metano seja utilizado como combustível em substituição aos combustíveis fósseis, ter-se-á emissão de dióxido de carbono, o qual já pertence ao seu ciclo natural. Se o biogás é apenas queimado, sem que seja aproveitada a energia nele contida, ainda assim é mais vantajoso do que deixar o material orgânico se decompor naturalmente no meio ambiente, pois não haverá emissão de metano e sim, de dióxido de carbono. Outra opção é

utilizar o material tratado como biofertilizante, disponibilizando ao solo os mesmos nutrientes contidos em terras agrícolas.

O biogás apresenta elevado potencial como fonte de energia renovável, ainda mais quando se empregam resíduos orgânicos oriundos das próprias cadeias produtivas, proporcionando, além da possiblidade de geração de energia, a destinação e tratamento adequados aos resíduos. A integração dos sistemas de cogeração de energia pela utilização do biogás proporciona ganhos em três principais aspectos aos empreendimentos: ambientais, pelo tratamento de resíduos de elevado potencial poluidor; econômicos, pela geração de energia e de biofertilizante; e sociais, pelo incentivo associado à imagem de consciência e responsabilidade que é transmitida pela empresa aos seus clientes e consumidores.

Conforme cita Edwiges, Muller & Martinez (2020) o aproveitamento energético do biogás tem papel fundamental na redução das emissões atmosféricas, principalmente de gases de efeito estufa (GEE), uma vez que o gás metano possui um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao CO_2, ou seja, a queima o metano durante a conversão do biogás em energia térmica ou elétrica reduz significativamente as emissões desta fonte de geração. O gás metano, quando lançado diretamente para a atmosfera, pode causar grande impacto ambiental. Por isso é importante que seja feito seu aproveitamento energético, caso não seja possível, que o metano seja queimado em flare para que seja convertido em CO_2, mitigando seu potencial de impactos (PECORA, 2006).

O biogás promove benefícios locacionais ao gerar energia onde a rede elétrica não chega ou é precária, fato recorrente em regiões com grande potencial de produção de biogás.

3 METODOLOGIA

O trabalho constitui de uma pesquisa exploratória e investigativa, realizada através de estudo de caso, comparativo, baseado em pesquisa de campo realizada na empresa objeto do estudo. Também foi realizada pesquisa bibliográfica junto a livros, artigos e publicações em revistas especializadas, consultas em sites na internet e manuais especializados.

A análise de viabilidade financeira foi feita utilizando-se dos indicadores Valor Presente Líquido (VPL), Taxa de Retorno Interno (TIR), *Payback*. O principal motivo para utilizar esse método é diminuir os riscos acerca dos investimentos, evitando-se que o projeto seja implementado no caso de o seu retorno ser inferior ao retorno esperado.

Para isso, foram realizados dois orçamentos de biodigestores urbanos junto as empresas BGS – Equipamentos para biogás e HomeBiogás, que se enquadrem na oferta de substrato por parte da empresa pesquisada. Ao se estimar a produção de biogás utilizando os resíduos orgânicos alimentares e o óleo vegetal de fritura, que será usado no processo produtivo da empresa em conjunto com o GLP, é possível se aferir a economia gerada pela utilização do gás em conjunto ao GLP. Também será estimado o volume de biofertilizante produzido e a produção de Certificados de Redução de Emissões (CRE) utilizando fórmulas encontradas na literatura.

Com o propósito de organizar melhor os dados e realizar os cálculos necessários para se atingir os objetivos propostos pelo projeto, foi criada uma planilha eletrônica utilizando o software Microsoft Excel. Além oferecer uma maior segurança e disposição dos dados coletados e inferidos, a planilha é ajustável para outros empreendimentos, servindo como base para análise de novos projetos, podendo contribuir no processo de tomada de decisão.

3.1 Caracterização do empreendimento

O restaurante Sabor de Casa (Figura 3) fica localizado no município de Maringá - PR. A empresa conta com cinco funcionários em seu quadro. O horário de atendimento ao público é de segunda a sábado das 10h30min às 14h00min. O serviço prestado pela empresa é de venda de refeições do tipo marmitex, sendo comercializadas no modelo *delivery* e *take away*. Não são servidas refeições para consumo no local. O empreendimento está em funcionamento desde o ano de 2010 sobre responsabilidade do proprietário João Carlos da Silva. As atividades da empresa se estendem de janeiro a dezembro, sendo que no primeiro mês do ano o comércio fica

sem funcionamento por um período de aproximadamente 15 dias, iniciando no começo do mês em questão.

Figura 3 - Fachada do restaurante Sabor de Casa, Maringá – PR.

Fonte: O autor (2021).

O processo produtivo (Figura 4) inicia-se com o recebimento de matéria-prima e insumos por meio de fornecedores ou por compras realizadas pelo proprietário. Em seguida estes são acondicionados temporariamente em um depósito ou quando necessário são levados para a cozinha. O preparo dos alimentos é a etapa em que se gera os resíduos orgânicos que serão utilizados no projeto. Também nesta etapa é consumido o gás GLP. Após levantamento realizado entre os dias 10 de junho e 10 de julho de 2021 (Quadro 2), considerando os dias de funcionamento do comércio, constatou-se uma geração média de 60kg por semana de resíduos orgânicos, sendo estes oriundos de cascas de legumes e sobras de hortaliças. Os resíduos alimentares foram separados e pesados diariamente, utilizando uma balança digital de propriedade da empresa, durante o período indicado.

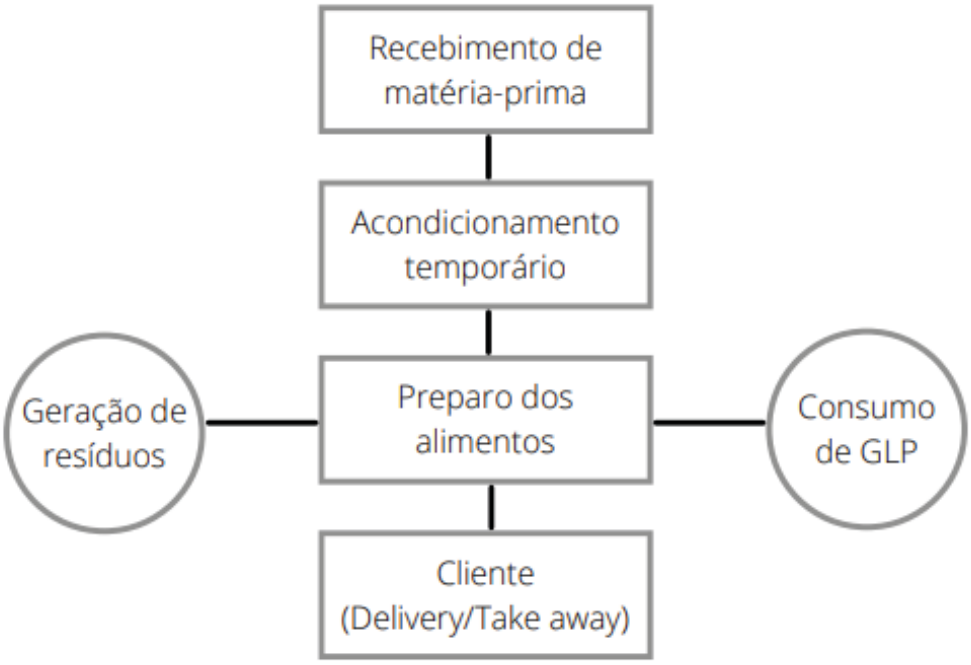
Quadro 2 - Quantificação dos resíduos alimentares

Data	Qtde. (kg)	Data	Qtde. (kg)	Data	Qtde. (kg)
10/06/2021	15,1	21/06/2021	8,4	01/07/2021	14,7
11/06/2021	7,6	22/06/2021	7,4	02/07/2021	9,6
12/06/2021	9,1	23/06/2021	8,5	03/07/2021	9,1
14/06/2021	8,6	24/06/2021	14,8	05/07/2021	8,5
15/06/2021	8,0	25/06/2021	8,0	06/07/2021	7,7
16/06/2021	8,9	26/06/2021	8,8	07/07/2021	7,5
17/06/2021	15,3	28/06/2021	7,5	08/07/2021	15,0
18/06/2021	8,3	29/06/2021	7,8	09/07/2021	8,2
19/06/2021	9,0	30/06/2021	8,6	10/07/2021	9,8
					Média ≅ 10kg/dia

O óleo foi estimado de acordo com o histórico de venda para empresa de coleta. O volume médio de óleo vegetal de fritura comercializado mensalmente é 51 litros, equivalente a 1,72 kg por dia.

Existe apenas uma cozinha no estabelecimento, sendo destinada para o preparo de todos os alimentos quentes e saladas. As refeições são vendidas no formato *delivery* e *take away*, não sendo consumidas no local.

Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo do Restaurante Sabor de Casa em Maringá/PR.



Fonte: O autor (2021).

O óleo vegetal é vendido ao custo de R$2,50/litro para a empresa Ambiental Ronha, sediada no município de Iguaraçu - PR, que opera sobre a licença ambiental de número 206174.

O resíduo fica acondicionado (Figura 5) durante aproximadamente 30 dias, período em que a empresa realiza a coleta. Uma das premissas deste estudo é de fazer a comparação entre o retorno financeiro gerado para a empresa pela produção e utilização do gás metano oriundo do óleo vegetal de fritura com o seu valor de mercado quando designado para venda. Com a estimativa de produção de biogás com este resíduo orgânico, é possível aferir com a economia gerada na compra de gás GLP, quando o gás metano produzido no processo é utilizado em conjunto com o gás de cozinha. O valor mensal economizado serve de comparação com a receita gerada pela venda do óleo.

Figura 5 - Óleo vegetal de fritura acondicionado temporariamente.

Fonte: O autor (2021).

A estrutura predial conta com três saídas de gás (Figura 6) próximas ao local de instalação do biodigestor, não sendo necessário a realização de obras civis para a injeção do biogás na rede de gás atual, somente algumas adaptações de conexão.

Figura 6 - Estrutura predial de conexão de gás

Fonte: O autor (2021).

3.2 Descrição dos investimentos

A geração de biogás será realizada por meio da biodigestão anaeróbia, assim, o biodigestor anaeróbio será o equipamento onde ocorrera a produção de biogás por meio dos resíduos orgânicos. O gás metano produzido no processo será usado para geração de energia térmica utilizada no processo produtivo da empresa. Em média, são consumidos 13kg de gás GLP por dia na produção dos alimentos.

Foram realizados dois orçamentos para compra de um biodigestor urbano, considerando o volume de resíduos gerados por dia. Os equipamentos são comercializados pelas empresas HomeBiogás (Figura 7A) e BGS – Equipamentos para biogás (Figura 7B). Em ambos os casos, o sistema vem com todos os equipamentos adicionais necessários como válvula de segurança, mangueira com conectores e válvulas, filtro de gás para remover o odor, saída do digestato. Quando se comparado a capacidade, ambos processam até 10 kilos de resíduos por dia, se enquadrando na necessidade da empresa.

Figura 7 - Biodigestores urbanos, HomeBiogás 7.0 (A) e Lavoisier (B).

Fonte: Adaptado de (HomeBiogás, 2021) e (BGS – Equipamentos para Biogás, 2021).

Os dois sistemas propostos estariam sobre condições de temperatura e pressão ambiente, além de não houver mistura do substrato ao longo do processo de produção de biogás. A homogeneização do substrato será feita antes de ir ao biodigestor. Em ambos os casos o sistema de alimentação do biodigestor seria de fluxo contínuo.

Para realizar a trituração e homogeneização do substrato, é necessário a utilização de um liquidificador industrial. Dessa forma, foi orçado a compra de um equipamento. O volume do liquidificador é de 4 litros, suficiente para atender a demanda de resíduos gerados diariamente.

3.3 Estimativa de produção de gás metano (CH_4)

Para se estimar a produção de biogás e consequentemente de gás metano potencial por parte da empresa, em primeiro momento, foi realizada a quantificação dos resíduos gerados. Foi destinado um acondicionador para os resíduos orgânicos alimentares, e no fim de cada expediente, o volume era pesado utilizando uma balança digital. Para o óleo vegetal de fritura, a estimativa foi feita na quantidade mensal vendida para empresa Ambiental Ronha. Assim, constatou-se uma produção média de 260 kg de resíduos orgânicos alimentares e 50 litros de óleo vegetal de fritura.

Em posse da quantidade de resíduos orgânicos gerados mensalmente, aplicou-se fórmulas matemáticas encontradas na literatura para se estimar o potencial de geração de biogás e consequentemente o gás metano. As equações utilizadas descritas na sequência foram obtidas do estudo realizado por Berhorst (2018).

A estimativa de produção de gás metano no biodigestor foi dada pela seguinte equação:

$$CH_{4ideal} = CH_{4potencial}\ (m^3/_d) \times Fator_{produção\text{-}ótima}\ (\%) \quad (1),$$

sendo:

$CH_{4potencial}$ = volume de metano produzido com valores encontrados na literatura. O estudo de Bley (2015) indica que o percentual de gás metano contido no biogás é de aproximadamente 60%;

$Fator_{produção\text{-}ótima}$ = percentual que o biodigestor aproveita do substrato para produção de biogás. Este fator foi utilizado com base nos estudos de Berhorst (2018), cujo valor percentual estimado foi na ordem de 80%;

Em seguida, foi estimado o volume de biogás potencial. Para isso, utilizou-se a seguinte equação:

$$Biogás_{potencial}\ (m^3/_d) = Q_{resíduo}\ (^{kg}/_d) \times SV\ (\%) \times Biogás_{sv}\ (m^3/_{kgSV}) \quad (2),$$

sendo:

$Q_{resíduo}$ = quantidade de resíduo gerado, sendo os resíduos orgânicos alimentares e o óleo vegetal de fritura;

SV = percentual de material biodegradável presente no substrato, ou seja, a matéria orgânica que será consumida pelos microrganismos e convertida em biogás;

$Biogás_{sv}$ = parâmetro do volume de biogás gerado para cada tonelada de SV.

O percentual de médio sólidos voláteis foi obtido com o Centro Internacional de Biogás (CIBiogás, 2021). Segundo dados da empresa, o percentual de SV dos resíduos orgânicos alimentares é na ordem de 26,76% e de 0,36 m³/kg de volume de biogás por quantidade de SV, já para o óleo vegetal de fritura os valores são de 98,28% de SV e de 0,74 m³/kg de volume de biogás por quantidade de SV.

A parcela de CH4 no biogás varia de acordo com o tipo de substrato. Assim, para determinar o volume potencial de metano gerado basta multiplicar o volume de biogás pela concentração de CH_4 (BERHORST, 2018). A equação para o cálculo do volume potencial de metano é dada por:

$$CH_{4potencial}\ (m^3/_d) = Biogás_{potencial}\ (m^3/_d) \times CH_{4ideal}\ (\%) \quad (3),$$

sendo:

CH_{4ideal} = 65% (AL SEADI et al., 2008).

Também se fez possível estimar a produção potencial de digestato do sistema. O digestato é a parcela líquida rica em nutrientes formada no processo de digestão anaeróbia. Este subproduto do processo pode ser utilizado como biofertilizante devido suas características químicas. Para se estimar a produção de biofertilizante, utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Biofertilizante}\ (m^3/_d) = \frac{Qresíduo\ \left(kg/_d\right) - Biogáspotencial\ \left(m^3/_d\right) \times \rho biogás\ (Mg/_{m^3})}{\rho biofertilizante\ (Mg/_{m^3})} \quad (4)$$

Com a atividade de biodigestão de resíduos é possível emitir CRE, pois ao gerar energia com a queima do biogás impede-se que o metano seja emitido na atmosfera (BERHORST, 2018). A equação utilizada para se estimar a quantidade de tCO_2e é dada por:

$$tCO_2e\ t/_d = CH_{4ideal}\ (m^3/_d) \times \rho CH_4\ (t/_{m^3}) \times VPAG_{CH4} \quad (5),$$

sendo:

$\rho CH_4\ (t/_{m^3})$ = a densidade do gás metano que equivale a 0,72 $kg/_{m^3}$ (AL SEADIA, et al., 2008);

$VPAG_{CH4}$ = trata-se do Valor Potencial de Aquecimento Global (VPAG) do gás metano, em comparação do dióxido de carbono em um limite de 100 anos, que é igual a 28 (MYHRE et al., 2013).

3.4 Indicadores de viabilidade econômica

As análises de investimentos tradicionais costumam utilizar-se dos cálculos de *payback*, taxa interna de retorno (TIR) e valor presente líquido (VPL), e por isso essa foi a abordagem escolhida no estudo presente, junto a uma análise de sensibilidade feita ao final com a conjuntura de resultados dispostos de forma organizada.

3.4.1 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Assaf Neto (2005) define que a taxa interna de retorno é uma das formas de se avaliar propostas de investimentos de capital. Representa a taxa de desconto que iguala, em determinado momento, as entradas com as saídas de caixa, ou seja, é a taxa para a qual o valor presente líquido do fluxo é nulo. A taxa será atraente se for maior ou igual a zero.

O valor da TIR foi calculado utilizando-se da fórmula do programa Microsoft Excel.

Quanto maior a TIR, maior a viabilidade de realização do projeto em análise. Quando a TIR for negativa, o projeto é inviável do ponto de vista econômico-financeiro, ou seja, seria preciso alterar o volume de investimento ou o tempo de retorno (SOLDERA; KÜHN, 2018).

3.4.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Valor Presente Líquido (VPL) considera o valor do investimento no tempo. A análise por meio do VPL tem como finalidade medir o valor presente dos fluxos de caixa futuros gerados pela atividade ao longo de um tempo determinado (SOLDERA; KÜHN, 2018). De acordo com os mesmos autores, o VPL desconta os fluxos de caixa para o instante zero a uma taxa especificada. Essa taxa, frequentemente chamada de taxa de desconto, custo de oportunidade, custo de capital ou taxa mínima de atratividade (TMA) refere-se ao retorno mínimo que o investimento deverá produzir para ser atraente. Basicamente, se o VPL for maior que zero, se aceita o projeto; se o VPL for menor que zero, rejeita-se o projeto (HOJI, 2003). A fórmula que representa o VPL é dada por:

$$VPL = \sum_{t=0}^{n} \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

(6), sendo:

FC = indica o fluxo de caixa do período;

n= tempo total do projeto, período total de avaliação do investimento;

i = taxa mínima de atratividade;

t = período (em anos ou meses).

Da mesma forma que a TIR, o VPL foi calculado utilizando-se de fórmula do programa Microsoft Excel.

3.4.3 *Payback*

De acordo com Contador (1988), o *payback* simples é um indicador mais simples e conhecido, e através do seu cálculo é possível estimar o número de períodos necessários para recuperar os recursos investidos no projeto. Woiler & Mathias (1983) dizem que o tempo de recuperação é o prazo de tempo necessário para que os investimentos realizados sejam integralmente recuperados.

Já no caso do cálculo do *payback* descontado, Contador (1988) salienta que o método surgiu de uma alternativa de se corrigir as imperfeições existentes no *payback* simples como sendo uma versão aperfeiçoada do indicador. Já Woiler & Mathias (1983) afirmam que este indicador tem a mesma definição do tempo de recuperação do capital simples, com a única diferença de que seu cálculo é feito com os valores do fluxo de caixa descontado a uma dada taxa. No cálculo, ele desconta os fluxos de caixa de um projeto aplicando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A expressão do *payback* descontado é dada por:

$$PV = FV / (1 + i) \wedge n \qquad (7),$$

sendo:

PV = valor descontado;

FV = valor futuro;

i = taxa de desconto;

n = período.

3.4.4 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A Taxa Mínima de Atratividade pode ser comparada segundo Casarotto Filho (2016) com o custo de oportunidade, pois quando se opta por investir em um novo projeto o investidor deve estar consciente que pode perder os retornos pela aplicação do capital em outro projeto. deve ser o mínimo esperado do projeto ou o retorno gerado por uma segunda opção.

A TMA é a taxa utilizada para calcular o VPL e é referência de comparação com a TIR para avaliar se o projeto será aceito ou não, (KASSAI et al., 2000). Para o estudo em questão, utilizou-se a TMA na ordem de 7%. O percentual foi definido pelo proprietário como sendo o valor mínimo aceitável para o investimento devido ao valor estar próximo a faixa de rendimento dos investimentos de baixo risco tradicionais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A investigação do potencial de retorno financeiro do projeto foi realizada para um período de 10 anos. Este é o mesmo tempo de garantia do equipamento por parte do fornecedor. Considerou-se como investimento os valores necessários para a compra dos equipamentos (biodigestor e liquidificador industrial) e como custo o consumo de energia por parte do liquidificador, usado para fazer a trituração e homogeneização do substrato. Já as receitas foram deduzidas da economia na compra de gás GLP gerada pela utilização do biogás em conjunto com o combustível.

Dentre os dois sistemas orçados (Quadro 3), a opção em que se considerou mais viável foi do sistema com o biodigestor Lavoisier, da empresa BGS. Além do preço ser aproximadamente 47% menor em comparação com o sistema HomeBiogás 7.0, o dimensionamento do equipamento é o que melhor se encaixa no espaço disponível.

Quadro 3 - Orçamento para compra dos equimentos do sistema de digestão anaeróbia

Tipo de Biodigestor	Volume (L)	Equipamentos adicionais	Custos dos equipamentos adicionais (RS)	Valor total (RS)
Biodigestor Lavoisier	2000	Liquidificador industrial	612,29	7.339,29
Biodigestor HomeBiogás 7.0	6500	Liquidificador industrial	612,29	13.512,29

Fonte: BGS Equipamentos para biogás (2021) e BioMovement (2021).

Para a aquisição dos equipamentos, foi realizado uma simulação de financiamento (Quadro 4) junto ao Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico Social (BNDES). O valor simulado foi de R$8.000,00, a serem pagos em um prazo de 60 meses a uma taxa de juros efetiva de 6,17% a.a., com valores de parcelas fixas na ordem de R$154,66. A linha de crédito apresenta uma taxa de juros menor do que a praticada pelo mercado convencional por se tratar de uma linha crédito específica para projetos sustentáveis. O valor residual dos gastos com a montagem do sistema de digestão anaeróbia será destinado a compra de filtros de carvão ativado, cuja função é inibir o mal cheiro decorrente da presente de gás sulfídrico presente na composição do biogás. Este filtro deve ser trocado a cada dois anos ao custo de aproximadamente R$100,00.

Quadro 4 - Simulação de empréstimo BNDES.

Valor do empréstimo	R$8.000,00
Valor da parcela	R$154,66
Prazo	60 meses
Taxa efetiva ao ano	6,17%

Fonte: BNDES (2021).

Aplicando a equação de estimativa de produção de biogás utilizando os resíduos orgânicos alimentares, temos que:

$$\text{Biogás}_{\text{potencial}}\ (m^3/_d) = 10\ (^{kg}/_d) \times 26{,}76\ (\%) \times 0{,}36\ (m^3/_{kgSV})$$

$$\text{Biogás}_{\text{potencial}}\ (m^3/_d) = 0{,}95$$

Utilizando a mesma equação para se estimar a produção de biogás com o óleo vegetal de fritura, se obtém o seguinte valor:

$$\text{Biogás}_{\text{potencial}}\ (m^3/_d) = 1{,}72\ (^{kg}/_d) \times 98{,}28\ (\%) \times 0{,}74\ (m^3/_{kgSV})$$

$$\text{Biogás}_{\text{potencial}}\ (m^3/_d) = 1{,}25$$

Com os resíduos orgânicos alimentares o potencial de geração de biogás é de 0,95 m³/dia, enquanto os resíduos do óleo vegetal de fritura este potencial é de 1,25 m³/dia. Assim, a soma dos dois resíduos seria capaz de produzir 2,2 m³/dia de biogás, ou ainda aproximadamente 58 m³/mês.

Para se estimar o valor de gás metano potencial, basta multiplicar o valor de biogás potencial pelo percentual de gás metano, que segundo Al Seadi et al. (2008) é de 65%. Desta forma, o potencial de gás metano com os resíduos orgânicos alimentares é dado por:

$$CH_{4\text{potencial}}\ (m^3/_d) = 0{,}95\ (m^3/_d) \times 65\ (\%)$$

$$CH_{4\text{potencial}}\ (m^3/_d) = 0{,}62$$

Ao se multiplicar o valor de gás metano potencial pelo fator de produção ótima, tem-se uma estimativa mais próxima do real. O fator de produção ótima considera que nem todo substrato inserido do biodigestor efetivamente se convertera em biogás. Este parâmetro foi obtido dos estudos de Berhorst (2018) e corresponde a 80%. Assim, temos que:

CH_{4ideal} $(m^3/_d)$ = 0,62 $(m^3/_d)$ × 80 (%)

CH_{4ideal} $(m^3/_d)$ = 0,50

Aplicando o mesmo conceito para o óleo vegetal de fritura, obtém-se os seguintes valores:

$CH_{4potencial}$ $(m^3/_d)$ = 1,25 $(m^3/_d)$ × 65 (%)

$CH_{4potencial}$ $(m^3/_d)$ = 0,81

E ainda:

CH_{4ideal} $(m^3/_d)$ = 0,81 $(m^3/_d)$ × 80 (%)

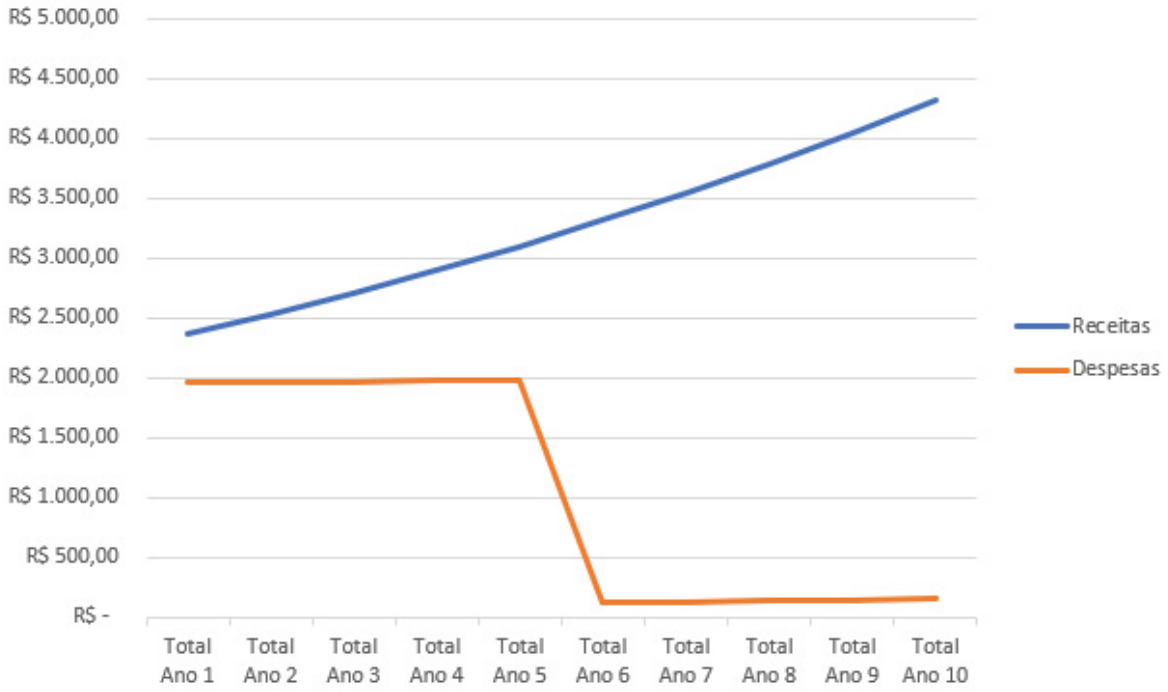
CH_{4ideal} $(m^3/_d)$ = 0,65

Deganutti et al. (2002) diz que cada 1 m³ de biogás produzido corresponde à 0,45 kg de GLP (gás liquefeito de petróleo). Como a estimativa de produção de biogás a partir dos resíduos orgânicos alimentares é de aproximadamente 25 m³/mês, este valor equivale a aproximadamente 11 kg de GLP para o mesmo período. No caso do biogás produzido a partir do óleo vegetal de fritura, correspondente a 33 m³/mês, este valor equivale a aproximadamente 15 kg de GLP. Assim sendo, o potencial de geração de biogás utilizando os dois tipos de resíduos é equivalente a 26 kg de GLP por mês. O custo de oportunidade, que seria o valor de economia que empresa teria na compra de GLP seria de R$200,00 por mês, considerando o valor de compra atual do botijão, que é de R$100,00 por 13 kg.

Para se estimar a receita, considerou-se a variação média de preço do botijão de gás dos últimos 10 anos (2010-2020), segundo dados da Agência Nacional de Gás Natural e Petróleo (ANP). O valor médio encontrado foi de 6,89% a.a. A receita é presumida do valor economizado pela empresa na compra de gás GLP, ao se utilizar biogás como fonte de energia térmica. A queda das despesas a partir do sexto ano se dá pelo término do pagamento do empréstimo bancário, sendo que o custo de energia para utilização do liquidificador industrial é a principal fonte de gastos do projeto.

A Figura 8 apresenta o fluxo de caixa para o período analisado do projeto, de 10 anos.

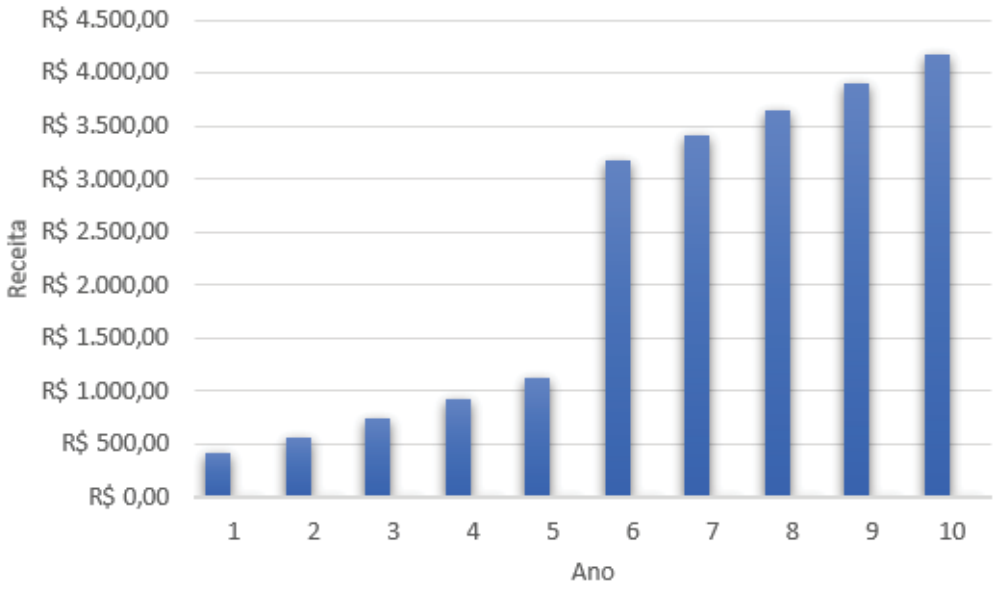
Figura 8 - Fluxo de caixa no período de 10 anos.



Fonte: O autor (2021).

Para evidenciar a situação econômica do projeto, apurando lucro ou prejuízo, realizou-se a Demonstração do Resultado de Exercício (DRE) aos 10 anos, a partir de informações como os custos, despesas, investimento, os juros de empréstimo e a amortização. A Figura 9 mostra o DRE.

Figura 9 - DRE no período de 10 anos.



Fonte: O autor (2021).

O Quadro 5 apresenta os valores projetados para o cálculo da D.R.E:

Quadro 5 - Dados estimados para cálculo do D.R.E

DRE	Ano 1 (R$)	Ano 2 (R$)	Ano 3 (R$)	Ano 4 (R$)	Ano 5 (R$)	Ano 6 (R$)	Ano 7 (R$)	Ano 8 (R$)	Ano 9 (R$)	Ano 10 (R$)
[+] Receita Bruta	2.372,49	2.536,04	2.710,86	2.897,74	3.097,50	3.311,03	3.539,28	3.783,26	4.044,07	4.322,85
[-] Custos Operacionais	.101,28	106,34	111,66	117,24	123,11	129,26	135,72	142,51	149,64	157,12
[-] Despesas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[=] EBITDA	2.271,21	2.429,69	2.599,20	2.780,49	2.974,39	3.181,77	3.403,55	3.640,75	3.894,43	4.165,73
[-] Despesa Financeira	441,52	369,19	277,49	180,14	76,78	-	-	-	-	-
[=] Lair	1.829,68	2.060,50	2.321,71	2.600,35	2.897,61	3.181,77	3.403,55	3.640,75	3.894,43	4.165,73
[=] Lucro Líquido	1.829,68	2.060,50	2.321,71	2.600,35	2.897,61	3.181,77	3.403,55	3.640,75	3.894,43	4.165,73
[-] Amortização Financiamento	1.141,40	1.486,73	1.578,43	1.675,78	1.779,14	-	-	-	-	-
[=] Fluxo de Caixa Líquido	415,26	573,77	743,28	924,57	1.118,47	3.181,77	3.403,55	3.640,75	3.894,43	4.165,73
Valores F. D. C	**415,26**	**573,77**	**743,28**	**924,57**	**1.118,47**	**3.181,77**	**3.403,55**	**3.640,75**	**3.894,43**	**4.165,73**

Fonte: O autor (2021).

Os custos operacionais foram presumidos do consumo de energia elétrica na utilização do liquidificador industrial para trituração do substrato. A estimativa foi feita no utilizando ferramenta da Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL). Não se considerou para o estudo as custas do tempo de trabalho para manuseio do sistema, haja vista que o procedimento é simples e não demandaria de tempo adicional de serviço por parte dos funcionários.

A partir do D.R.E. foi possível verificar o tempo necessário para recuperar o investimento, dito *payback*. Assim, DRE mostra ser possível recuperar o investimento a partir do oitavo ano. O Quadro 6 expõe o valor calculado do *payback*:

Quadro 6 - Cálculo do *payback* para o período de 10 anos.

Período (ano)	Fluxo de caixa líquido (FCL)	VP	Fluxo de caixa acumulado
0	(R$ 7.339,29)	(R$ 7.339,29)	(R$ 7.339,29)
1	R$ 415,29	R$ 388,12	(R$ 6.951,17)
2	R$ 573,77	R$ 501,16	(R$ 6.450,02)
3	R$ 743,28	R$ 606,74	(R$ 5.843,28)
4	R$ 924,57	R$ 705,35	(R$ 5.137,93)
5	R$ 1.118,47	R$ 797,45	(R$ 4.340,47)
6	R$ 3.181,77	R$ 2.120,15	(R$ 2.220,33)
7	R$ 3.403,55	R$ 2.119,56	(R$ 100,76)
8	R$ 3.640,75	R$ 2.118,95	R$ 2.018,19
9	R$ 3.894,43	R$ 2.118,31	R$ 4.136,50
10	R$ 4.165,73	R$ 2.117,65	R$ 6.254,15

Fonte: O autor (2021).

O Valor Presente Líquido (VPL) o a Taxa de Retorno Interno (TIR) foram calculados (Quadro 7) utilizando-se de fórmulas pré-definidas pelo software Microsoft Excel. Para efeito de cálculos, considerou-se a TMA no valor de 7% a.a. O VPL calculado foi de R$5.845,00 enquanto a TIR ficou na ordem de 10% a.a.

Quadro 7 - Indicadores de viabilidade financeira estimados no período de 10 anos.

VPL	TIR	TMA
R$ 5.845,00	10%	7%

Fonte: O autor (2021).

Em posse dos valores dos indicadores de viabilidade econômica, é possível afirmar que o investimento na implantação do biodigestor para produção de biogás é viável. Com a economia na compra de gás GLP gerada pela utilização do biogás em conjunto com o combustível é possível pagar o valor do empréstimo e dos custos operacionais do sistema. Além do retorno financeiro, a aplicação do projeto permitiria uma melhor gestão dos resíduos gerados no processo produtivo da empresa, contribuindo a diminuição nas emissões de gases de efeito estufa e dando uma destinação correta para um resíduo que tem o potencial poluidor quando mal gerido.

Além da produção de biogás, durante o processo de digestão anaeróbia também é produzido um subproduto líquido, denominado digestato. Este subproduto, ainda que não seja aproveitado no quesito econômico no projeto, pode ser utilizado como fertilizante natural rico em nutrientes. Mesmo que não seja utilizado, este resíduo não impacta o meio ambiente quando

descartado. A estimativa de geração de biofertilizante com os resíduos orgânicos alimentares é dada por:

$$\text{Biofertilizante } ({}^{m^3}/_{d}) = \frac{10\left({}^{kg}/_{d}\right) - 0{,}95\left({}^{m^3}/_{d}\right) \times 1{,}22({}^{Mg}/_{m^3})}{1010{,}32\ ({}^{Mg}/_{m^3})}$$

$$\text{Biofertilizante } ({}^{m^3}/_{d}) = 0{,}0087$$

Já para o óleo vegetal de fritura, tem-se que:

$$\text{Biofertilizante } ({}^{m^3}/_{d}) = \frac{1{,}72\left({}^{kg}/_{d}\right) - 1{,}25\left({}^{m^3}/_{d}\right) \times 1{,}22({}^{Mg}/_{m^3})}{1010{,}32\ ({}^{Mg}/_{m^3})}$$

$$\text{Biofertilizante } ({}^{m^3}/_{d}) = 0{,}0002$$

Sendo assim, somando-se a produção com os dois tipos de resíduos, a estimativa de produção anual de biofertilizante é de 2,54 m³ ou ainda 2.545,4 litros.

Por fim, é possível se estimar o potencial de toneladas de CO_2 equivalente que a empresa deixaria de emitir ao se adotar o processo de digestão anaeróbia. Os valores estimados para os resíduos orgânicos alimentares foram:

$$tCO_2e\ {}^{t}/_{d} = 0{,}50\ ({}^{m^3}/_{d}) \times 0{,}00072\ ({}^{t}/_{m^3}) \times 28$$

$$tCO_2e\ {}^{t}/_{d} = 0{,}0100$$

Para o óleo vegetal de fritura, os valores são de:

$$tCO_2e\ {}^{t}/_{d} = 0{,}65\ ({}^{m^3}/_{d}) \times 0{,}00072\ ({}^{t}/_{m^3}) \times 28$$

$$tCO_2e\ {}^{t}/_{d} = 0{,}0131$$

Em posse das estimativas, é possível afirmar que a empresa deixaria de emitir 3,74 tCO_2e por ano ao se utilizar os dois tipos de resíduos como substrato para produção de biogás.

5 CONCLUSÃO

O restaurante Sabor de Casa apresentou um grande potencial de produção de biogás utilizando os resíduos orgânicos alimentares e o óleo vegetal de fritura. A adoção do sistema de digestão anaeróbia para aproveitamento destes resíduos como fonte de energia térmica é uma alternativa interessante para o comércio, devido a grande quantidade de resíduos gerados e ao grande consumo de outra fonte de energia térmica, o gás liquefeito de petróleo (GLP) um combustível fóssil.

Os indicadores de viabilidade econômica apontam para um cenário promissor para o projeto, ao se utilizar os dois tipos de resíduos orgânicos para produção de biogás. Caso a empresa opte por continuar vendendo o óleo vegetal de fritura ao invés de utilizá-lo para produção de biogás como fonte de energia térmica, o projeto não seria viável, haja vista que o volume de produção de biogás por parte do óleo vegetal de fritura corresponde a 56% do total do potencial de geração.

Além do benefício econômico gerado pela utilização do biogás como fonte de energia térmica no processo produtivo da empresa, pode-se evidenciar os benefícios ambientais e sociais decorrentes da adoção do método. A redução da geração de resíduos por parte da empresa, a destinação e tratamento correto dos resíduos orgânicos, a melhora da imagem da empresa para com a sociedade, o incentivo a outras empresas de mesmo porte adotarem o sistema, a possibilidade de estudos futuros e contribuição com o meio científico.

REFERÊNCIAS

AL SAEDI, T.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; KÖTTNER, M.; FINSTERWALDER, T.; VOLK, S.; JANSSEN, R. **Biogas handbook**. Esbjerg, Dinamarca: University of Southern Denmark, 2008. Disponível em: < http://lemvigbiogas.com>. Acesso em: 14 Julho 2021.

AMARAL, C. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JUNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004.

ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbio**. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia - MG, 2017.

ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativa e Valor**; 2ª Ed; Atlas; São Paulo; 2005

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONOMICO SOCILA (BNDES). **Simulador**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/simulador/?productCode=AOI_033&valorBem=500000&percentualFinanciado=100&prazoFinanciamento=120&prazoCarencia=0&spreadAgente=NaN&projecaoInflacaoAnual=4.7>. Acessado em: agosto de 2021.

BERHORST, N. L. **Avaliação de retorno financeiro de um biodigestor com características pré-estabelecidas para dejetos suínos.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Área de Concentração em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná, 2018.

BGS Equipamentos para biogás. **Biodigestor urbano.** Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/urbano/>. Acessado em: julho de 2021.

BGS Equipamentos para biogás. **História do biogás.** Disponível em: < https://www.bgsequipamentos.com.br/historia-do-biogas/>. Acessado em: julho de 2021.

BLEY, Cícero Jr. **Biogás - a energia invisível,** 2ª ed. rev. e ampl., Editora Atol Estúdio, 2015.

BioMovement. **HomeBiogas 7.0.** Disponível em: <https://homebiogas.com.br/produto/homebiogas-7-0/>. Acessado em: julho de 2021.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 002/2010 – **Panorama do Biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, Abril de 2020.

Companhia Paranaense de Energia (COPEL). **Meu simulador de consumo**. Disponível em: < https://www.copel.com/scnweb/simulador/informacoes.jsf>. Acessado em: agosto de 2021.

CONTADOR, C. R. **Avaliação social de projetos.** São Paulo: Atlas, 1988.

EDWIGES, T; MULLER, R; MARTINEZ, D. G. **Digestão anaeróbia: características do substrato, principais fontes e etapas da produção de biogás.** GEF Biogás Brasil, 2020.

FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização.** Ministério da Nutrição Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. Gülzow, Alemanha. 2010. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/guia-pratico-do-biogas.pdf>. Acessado em: julho de 2021.

HOJI, M. **Administração financeira**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

KARLSSON, T; KONRAD, O; LUMI, M; SCHMEIER, N. P; MARDER, M; CASARIL, C. E; KOCH, F. F; PEDROSO, A. G. **Manual básico de biogás.** Disponível em: < univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/pdf_71.pdf>. Acessado em: julho de 2017.

KASSAI, José R. et al. **Retorno de Investimento: Abordagem matemática e contábil do lucro empresarial** 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2000.

KONRAD, O.; HEBERLE, A. N. A.; CASARIL, C. E.; KAUFMANN, G. V.; LUMI, M.; DALL'OGLIO, M.; SCHMITZ, M. Avaliação da Produção de Biogás e Geração de Metano a partir de Lodo de Estação de Tratamento de Efluentes e Glicerina Residual. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 2, p. 49-55, 2010.

MYHRE, G; SHINDELL, D. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. **Climate Change 2013**: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1535 f., p. 659-740, 2013.

OLIVER, A. de P. M.; SOUZA, A. de A. N.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Winrock, 2008.

ECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP: estudo de caso.** 2006. 152p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2006.

REIS, A. S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2012. 79f.

SEBRAE. **Viabilidade financeira**. Disponível em: < https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pr/artigos/viabilidade-financeira,4e8ccd18a819d610VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acessado em: julho de 2021.

SOLDERA, D.; KÜHN, D. D. **Gestão e planejamento de agroindústrias familiares**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2018. p. 41-59

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: planejamento, elaboração e análise.** São Paulo: Atlas, 1983.